

УДК 519.876.5:621.31

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ НАПРЯЖЕНИЯ****Семёнов А.С., Бондарев В.А., Заголило С.А.***Политехнический институт (филиал) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

Данная научная статья посвящена вопросам контроля качества электрической энергии (а именно напряжения) учебно-лабораторного корпуса Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном. Измерения проводились в рамках научно-исследовательской деятельности студенческого научного кружка «Энергоаудитор», функционирующего на базе учебно-научной исследовательской лаборатории электромагнитной совместимости и качества электроэнергии при кафедре электроэнергетики и автоматизации промышленного производства. Измерения напряжения и дальнейший анализ результатов проводились согласно требованиям ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ) с использованием приборов ELSPEC G-4400 BlackBox. Приборы были установлены в двух местах: в узле ввода учебно-лабораторного корпуса и на вводном щите одной из лабораторий. В качестве результатов измерений приведены данные, относящиеся к продолжительным изменениям характеристик и к случайным событиям: медленные изменения напряжения, колебания напряжения и фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжения, прерывания напряжения, провалы и перенапряжения, импульсные напряжения. Представлены допустимые отклонения измеряемых параметров напряжения. Рассмотрены возможные схемы подключения анализаторов ELSPEC G-4400 BlackBox к трехфазной четырехпроводной электрической сети. Показано браузерное приложение прибора, используемое для наглядного отображения измеряемых параметров в онлайн-режиме. Представлены результаты измерений и сделаны выводы о соответствии измеренных показателей качества электроэнергии (относящихся к напряжению) требованиям ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ).

**Ключевые слова:** электроэнергия, контроль качества, показатели качества, измерения, анализатор, напряжение, медленные изменения напряжения, случайные события, гармоники, провалы, лаборатория

**QUALITY CONTROL OF ELECTRICITY AND ANALYSIS THE OBTAINED RESULTS IN MEASURING VOLTAGE****Semenov A.S., Bondarev V.A., Zagolilo S.A.***Polytechnic institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

This scientific article is devoted to the issues of quality control electrical energy (namely voltage) in the educational and laboratory building Polytechnic Institute (branch) of North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Mirny. The measurements were carried out in the framework of research activities of the student scientific circle «Energyauditor», functioning on the basis of the educational and research laboratory electromagnetic compatibility and quality electricity at the Department of Electric Power and Automation of Industrial Production. Voltage measurements and further analysis of the results were carried out in accordance with the requirements of GOST 32144-2013 (EN 50160: 2010, NEQ) using ELSPEC G-4400 BlackBox devices. The instruments were installed in two places: at the site of the training and laboratory building and on the opening shield of one of the laboratories. As the measurement results are given the data relating to the long-term changes in characteristics and to random events: slow voltage changes, voltage fluctuations and flicker, nonsinusoidal and unbalanced voltage, voltage interruptions, dips and overvoltages, impulse voltages. Permissible deviations of the measured voltage parameters are presented. Possible schemes for connecting ELSPEC G-4400 BlackBox analyzers to a three-phase four-wire electrical network are considered. The browser application of the device, used for visual display of measured parameters in online mode, is shown. The results of measurements are presented and conclusions are drawn about the compliance of the measured power quality parameters (relating to voltage) to the requirements of GOST 32144-2013 (EN 50160: 2010, NEQ).

**Keywords:** electricity, quality control, quality indicators, measurements, analyzer, voltage, slow voltage changes, random events, harmonics, dips, laboratory

К основным задачам контроля качества электроэнергии (ККЭ) относятся: обнаружение помех и их оценка [1–3]; регистрация измеренных числовых характеристик в целях обработки и отображения результатов [4–7]; оценка измеренных значений показателей качества электроэнергии на соответствие установленным требованиям [8–9]; определение источника помех [10–11]; проведение

коммерческих расчетов между поставщиком и потребителем электроэнергии [12–16]. Для организации измерений необходимо определить вид контроля, точку осуществления измерений и виды контролируемых показателей качества электроэнергии (ПКЭ). В зависимости от длительности наблюдения можно выделить два вида организации контроля: периодический [17–22] и постоян-

ный [23–26]. Отличие постоянного контроля от периодического заключается в непрерывности времени измерений и обработки результатов [27–32].

Возможны два варианта реализации поставленной задачи по контролю качества электроэнергии: система мониторинга, основанная на методах виртуального моделирования физических процессов; система мониторинга, основанная на применении контрольно-измерительных приборов. На сегодняшний день методы виртуального моделирования широко применяются во всех областях науки и производства, так как они позволяют оперативно и с наименьшими затратами определить определенные параметры конечного результата. Основным преимуществом второго варианта ККЭ является высокая точность, так как метод основан на измерениях физических величин. Также исследования, направленные на использование этого метода, позволяют определить принципиально новые требования к приборам учета и мероприятиям, обеспечивающим оптимизацию ККЭ [33].

Объектом исследования и анализа в настоящей статье являются показатели качества электроэнергии (а именно напряжение) учебно-лабораторного корпуса Политехнического института (филиала) ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный уни-

верситет имени М.К. Аммосова» в г. Мирном [34–35]. Измерения ПКЭ проводились в рамках научно-исследовательской деятельности студенческого научного кружка «Энергоаудитор», функционирующего на базе учебно-научной исследовательской лаборатории электромагнитной совместимости и качества электроэнергии при кафедре электроэнергетики и автоматизации промышленного производства [36].

Измерения напряжения и дальнейший анализ результатов проводились согласно требованиям ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ) [37] с использованием приборов ELSPEC G-4400 BlackBox. Приборы были установлены в двух местах: в узле ввода учебно-лабораторного корпуса (УЛК) и на вводном щите одной из лабораторий [38–40].

В качестве результатов измерений приведем данные, относящиеся к продолжительным изменениям характеристик и к случайным событиям: медленные изменения напряжения, колебания напряжения и фликер, несинусоидальность и несимметрия напряжения, прерывания напряжения, провалы и перенапряжения, импульсные напряжения. Измерения согласно требованиям ГОСТ проводились в течение семи дней. Допустимые отклонения измеряемых параметров напряжения приведены в таблице.

Допустимые отклонения напряжения

№ п/п	Показатель	Максимально допустимое отклонение в течение 95% времени интервала измерения	Максимально допустимое отклонение в течение 100% времени интервала измерения	Продолжительность измерения
1	Медленные изменения напряжения	–	+/- 10% от номинального	1 неделя (1008 интервалов времени измерений по 10 минут каждый)
2	Колебания напряжения и фликер:			
	Кратковременная доза фликера	–	1,38	1 неделя (интервал времени 10 минут)
	Длительная доза фликера	–	1,0	1 неделя (интервал времени 2 часа)
3	Несинусоидальность напряжения:			
	Гармонические составляющие напряжения (значения суммарных коэффициентов при напряжении 380 В)	8,0%	12,0%	1 неделя (интервал времени 10 минут)
4	Несимметрия напряжения:			
	Коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности	2%	4%	1 неделя (интервал времени 10 минут)
	Коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой последовательности	2%	4%	1 неделя (интервал времени 10 минут)

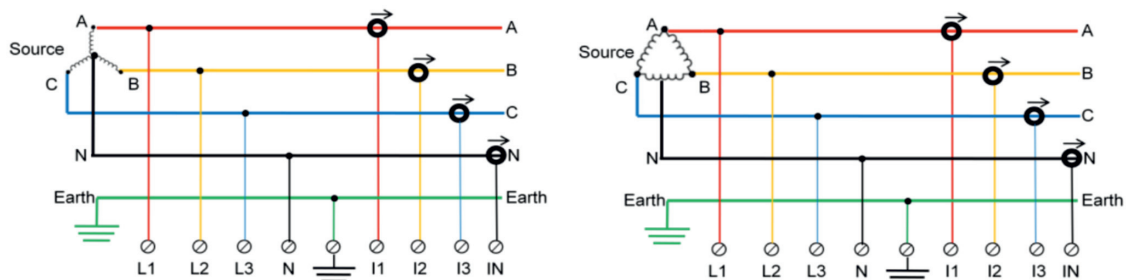


Рис. 1. Схемы подключения ELSPEC G-4400 BlackBox к трехфазной сети

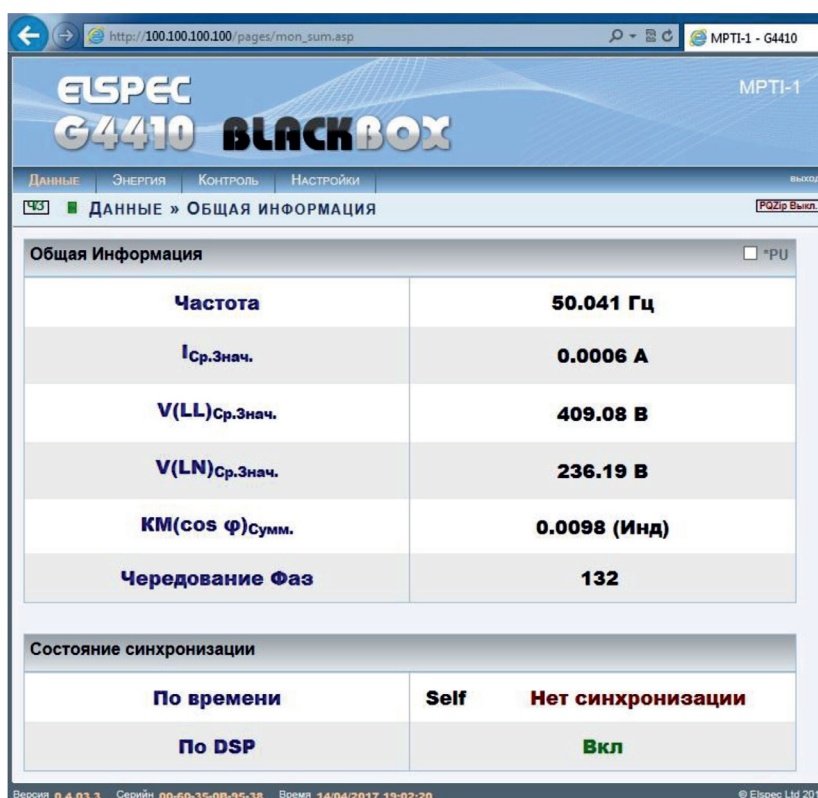


Рис. 2. Общая информация в окне браузера с прибора ELSPEC G-4400 BlackBox

Возможные схемы подключения анализаторов ELSPEC G-4400 BlackBox к трехфазной четырехпроводной электрической сети приведены на рис. 1.

Для наглядного отображения измеряемых параметров в онлайн-режиме используется браузерное приложение прибора (рис. 2).

### Результаты измерений

Измерения проводились в течение семи дней (согласно требованиям ГОСТ) с 29 марта по 04 апреля 2017 г. Поставщиком электроэнергии для учебно-лабо-

раторного корпуса являются Западные электрические сети (филиал) ПАО АК «Якутскэнерго». Результаты измерений и их дальнейший анализ для наглядности условно будем разделять на рабочие и выходные дни.

1. Медленные изменения напряжения: фазные напряжения – как в рабочие, так и в выходные дни показания на фазах А, В и С не превышают допустимого значения (рис. 3); межфазные напряжения – как в рабочие, так и в выходные дни показания на фазах АВ, ВС и АС не превышают допустимого значения (рис. 4).



Рис. 3. Среднее значение фазных напряжений за период измерения



Рис. 4. Среднее значение межфазных напряжений за период измерения



Рис. 5. Формы фазных напряжений при провале 31 марта около 02:00 часов



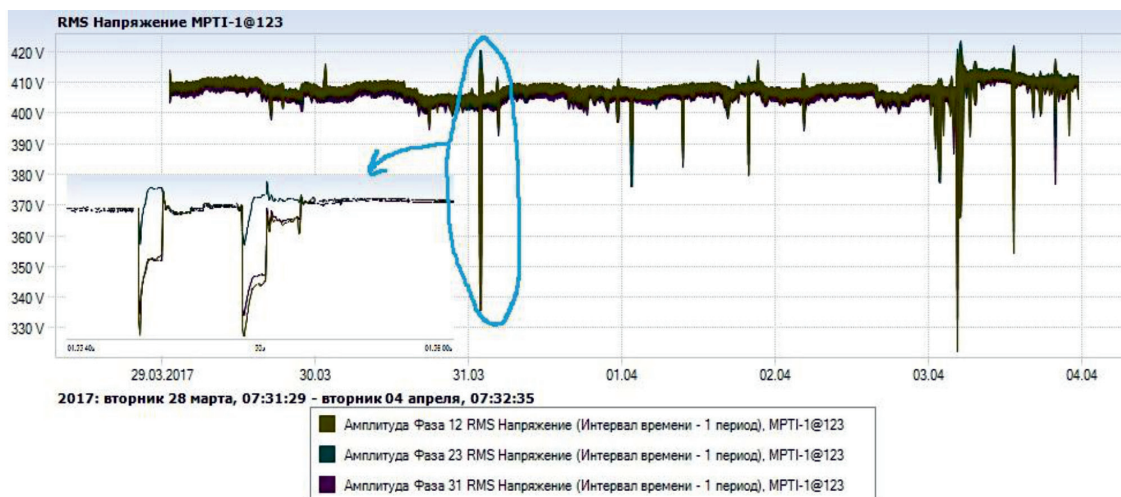


Рис. 6. Формы межфазных напряжений при провале 31 марта около 02:00 часов

**ESPEC G4410 BLACKBOX** MPTI-1

ДАННЫЕ ЭНЕРГИЯ **КОНТРОЛЬ** НАСТРОЙКИ ВЫХОД

43 **КОНТРОЛЬ » ДЕТАЛИ** FOZp Выкл.

**Подробная информация о контроле** Вкл

	Состояние	Наблюдение	Окно	Время соотв	Время неизв	Всего записей
	Частично		Интервал	Время несоотв		
<b>Частота Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 sec	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Флуктуации Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 min	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Быстрые Перепады Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 3 sec	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Падения Энергоснабжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 ms	98.100 % 1.9005 %	0.0000 %	2
<b>Короткие Перебои</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 ms	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Долгие Перебои</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 ms	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Временное Перенапряжение</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 ms	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Фликер Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 min	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Гармоники Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 min	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0
<b>Не Сбалансированные Напряжения</b>	ОК ОК	Полно	1 week 10 min	100.000 % 0.0000 %	0.0000 %	0

Рис. 7. Детали данных при контроле качества электроэнергии

2. Колебания напряжения и доза фликера: за весь период измерений в рабочие и выходные дни показания кратковременной и длительной доз фликера не превышают допустимого значения.

3. Несинусоидальность напряжения: показания коэффициентов  $n$ -ых гармонических составляющих и суммарный коэффициент и в рабочие и в выходные дни за весь период измерений не превышал допустимых значений для всего ряда гармоник трехфазной сети.

4. Несимметрия напряжения: коэффициенты несимметрии по обратной и по нулевой последовательностям и в рабочие и в выходные дни не превышали допустимых значений.

5. Случайные события: за период измерений наблюдалось 2 провала напряжения, оба были зафиксированы в рабочие дни – 31 марта около 02:00 и 03 апреля около 05:00. Второй провал был значительно больше первого, и ему предшествовали менее значительные снижения напряжения, не выходящие за нормы. В случае первого провала отклонения от норм ГОСТ составили 14,5%, при втором провале – 21,8%. Формы напряжения при провале представлены на рис. 5 и 6 соответственно для фазных и межфазных напряжений.

### Заключение

В заключение подведем итоги по соответствию измеренных показателей качества электроэнергии (относящихся к напряжению) требованиям ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Как в рабочие, так и в выходные дни соответствие качества электроэнергии выполняется. Результаты измерений, относящиеся к продолжительным изменениям характеристик, полностью соответствуют требованиям ГОСТ. Результаты измерений, относящиеся к случайным событиям, несмотря на ряд провалов напряжения, также соответствуют требованиям ГОСТ, так как время несоответствия за весь период измерений составляет 1,9% при допустимых 5% (рис. 7).

Таким образом, можно сделать вывод, что качество электроэнергии в учебно-лабораторном корпусе полностью соответствует требованиям ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ). Поскольку провалы напряжения были зафиксированы в ночное время, это говорит о том, что они не связаны с работой (запуском, остановкой, регулированием) какого-либо лабораторного оборудования (вентиляторных и насосных установок, станков, стендов автоматизированного электропривода, электроплит столовой), установленного в учебно-ла-

бораторном корпусе [41–43]. Дальнейшие исследования качества электроэнергии будут продолжены. Будут выбраны новые точки присоединения измерителей ПКЭ и использованы новые анализаторы отечественного производства серий «Ресурс» и «Энергомонитор».

### Список литературы

1. Степанцева О.А. Качество электроэнергии. Приборы контроля // Энергия: экономика, техника, экология. – 2010. – № 1. – С. 66–67.
2. Плахотнюк А.Н., Дудник Ю.А. Контроль качества электроэнергии и способы его осуществления в современных условиях // Энергосбережение и водоподготовка. – 2009. – № 5. – С. 66–68.
3. Лыгин И.В. Устройство съема данных для контроля качества электроэнергии на базе многофункциональных счётчиков // Электрика. – 2009. – № 10. – С. 17–19.
4. Артюшенко В.М., Аббасова Т.С., Шляхтин С.А. Повышение качества электропитания в автоматизированной системе контроля и учета электроэнергии // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2008. – № S1. – С. 3–15.
5. Дмитриенко А.Г. Системы контроля показателей качества электроэнергии распределенных энергосистем // Современные информационные технологии. – 2009. – № 10. – С. 49–50.
6. Кубарев Д.В. Интерполяционные методы обработки сигналов в устройствах контроля качества электроэнергии нового поколения // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2012. – № 3. – С. 26–29.
7. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Симуткин М.Г., Насыров Р.Р. Оценка работы фильтров в системе электроснабжения горнодобывающего предприятия по результатам контроля качества электроэнергии // Горное оборудование и электромеханика. – 2012. – № 7. – С. 16–19.
8. Дмитриенко А.Г., Михеев М.Ю., Юрманов В.А., Пискаев К.Ю. Повышение точности средств измерения системы контроля показателей качества электроэнергии стартового комплекса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 69–80.
9. Шиганов А.А. Новые приборы контроля качества электроэнергии // Главный энергетик. – 2008. – № 10. – С. 29–32.
10. Калинин К.Ю., Ильяшенко Е.В. Система непрерывного контроля качества электроэнергии как элемент построения измерительных систем контроля качества и энергосбережения электроэнергии промышленного предприятия и электросетевой компании // Энергетик. – 2013. – № 4. – С. 45–52.
11. Дубинин В.В., Попов А.Н. Контроль показателей качества электроэнергии в промышленных электрических сетях // Ползуновский вестник. – 2013. – № 4–2. – С. 66–71.
12. Бондарев В.А., Семёнов А.С. Оценка основных факторов энергосбережения // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5–1. – С. 228–229.
13. Наумчук В.Ю., Савина Н.В. Организация контроля качества электрической энергии на розничных рынках электроэнергии // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – № 7 (90). – С. 116–121.
14. Савина Н.В., Козлова Т.С. Эксплуатационный контроль качества электроэнергии в электрических сетях // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2007. – № 37. – С. 67–76.
15. Федоров О.В., Семёнов А.С., Егоров А.Н., Хубиева В.М. Технико-экономическое обоснование внедрения системы непрерывного мониторинга показателей качества электроэнергии на объектах горных предприятий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2016. – № 9–10. – С. 91–97.

16. Семенов А.С., Кузнецов Н.М. Анализ результатов мониторинга показателей качества электрической энергии в подземном руднике // Измерительная техника. – 2014. – № 4. – С. 31–34.
17. Семёнов А.С., Матул Г.А., Хазиев Р.Р., Шевчук В.А., Черенков Н.С. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от трёхфазного источника питания // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–6. – С. 1210–1215.
18. Semenov A.S. Development of monitoring system for measuring the quality of electrical energy on the mining industry // Applied and Fundamental Studies. Proceedings of the 1st International Academic Conference. Edited by Yan Maximov. – 2012. – С. 301–304.
19. Semenov A.S., Kuznetsov N.M. An analysis of the results of monitoring the quality of electric power in an underground mine // Measurement Techniques. – 2014. – С. 417–420.
20. Карташев И.И., Тульский В.Н., Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Мониторинг показателей качества электрической энергии в системах электроснабжения горных предприятий. Монография. – М., 2013. – 144 с.
21. Мясоедов Ю.В. Автоматизированный контроль показателей качества электроэнергии в сетях промышленных предприятий // Вестник Амурского государственного университета. Серия: Естественные и экономические науки. – 2007. – № 37. – С. 61–67.
22. Пономаренко И.С., Пономаренко О.И., Большаков О.В. Инструментальный контроль показателей качества электроэнергии в электрических сетях при переходе на новый ГОСТ (стандарт) // Автоматизация и ИТ в энергетике. – 2015. – № 3 (68). – С. 5–10.
23. Пономаренко И.С., Дичина О.В., Скорняков А.Ю., Аксенов Д.А., Крупович Н.Н., Пономаренко О.И. Повышение экономической эффективности работы распределительных электрических сетей за счёт снижения коммерческих потерь электроэнергии и организации контроля её качества // Энергетик. – 2014. – № 8. – С. 24–29.
24. Зеленкова Л.И. Методика мониторинга качества электроэнергии в электросетях // Главный энергетик. – 2015. – № 1. – С. 35–40.
25. Ивашенко В.С., Хруслов Л.Л., Киреев С.И., Ступишин В.С., Шишов В.А. Качество электрической энергии и технологии его мониторинга // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2008. – № 5. – С. 4–9.
26. Кривоногов С.В. Анализ эффективности систем управления электроснабжением // Карельский научный журнал. – 2015. – № 1 (10). – С. 179–182.
27. Кузнецов Н.М., Семёнов А.С. Разработка системы мониторинга для измерения показателей качества электроэнергии на горных предприятиях // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4–2. – С. 295–299.
28. Кузнецов Н.М., Семенов А.С., Бебихов Ю.В., Рыбников А.В. Результаты мониторинга показателей качества электрической энергии потребителей подземного рудника // Горный журнал. – 2014. – № 1. – С. 23–26.
29. Плахотнюк А.Н., Дудник Ю.А. Возможные перспективы развития современных средств измерения качества электроэнергии // Энергосбережение и водоподготовка. – 2010. – № 3. – С. 22–23.
30. Кузнецов Н.М., Федоров О.В. Влияние электроприбора с вентильным преобразователем на качество электрической энергии // Энергоэффективность: опыт, проблемы, решения. – 2010. – № 7. – С. 21.
31. Фёдоров О.В., Семенов А.С., Егоров А.Н. Измерение и анализ показателей качества электроэнергии учебного-лабораторного корпуса // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве. Материалы докладов II Поволжской научно-практической конференции. – 2016. – С. 414–420.
32. Матул Г.А., Егоров А.Н., Бебихов Ю.В. К вопросу об измерении качества электроэнергии в образовательных учреждениях // Студенческий научный форум – 2017. IX Международная студенческая электронная научная конференция. – 2017.
33. Семёнов А.С., Бондарев В.А. Анализ показателей качества электрической энергии при работе асинхронного двигателя от преобразователя частоты // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 4–1. – С. 112–117.
34. ГОСТ 32144-2013 (EN 50160:2010, NEQ) Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2014. – 16 с.
35. Козырук А.Е., Кузнецов Н.М., Федоров О.В., Свириденко А.О. Искажение формы питающего напряжения в сетях электроснабжения при наличии полупроводниковых преобразователей // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 6. – С. 30–35.
36. Фёдоров О.В., Голубцов Н.В. Энергоэффективность зданий в аспекте энергосберегающего управления // Электротехнические системы и комплексы. – 2012. – № 20. – С. 332–342.
37. Федоров О.В., Немцев А.Г. Влияние электротехнических комплексов с несинусоидальной характеристикой на систему электроснабжения // Вестник Чувашского университета. – 2012. – № 3. – С. 166–174.
38. Malyshev Yu., Fedorov O. Analysis of automatic control systems of self-contained electric stations // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. – 2013. – № 4. – С. 3.
39. Fedorov O.V., Kuznetsov M.M. Alternative energy sources for remote customers // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. – 2015. – № 6 (123). – С. 141–144.
40. Fyodorov O., Sarvarov A., Petushkov M. Electromagnetic compatibility of starting devices for ac electric drives with power supply network // Scientific Works of Vinnytsia National Technical University. – 2015. – № 4. – С. 17–19.
41. Голубцов Н.В., Ефремов Л.Г., Федоров О.В. Проблема эффективности использования энергоресурсов // Вестник Чувашского университета. – 2014. – № 2. – С. 18–22.
42. Немцев Г.А., Немцев А.Г., Федоров О.В. Резонансные явления при эксплуатации систем электроснабжения с фильтрокомпенсирующими устройствами // Вестник Чувашского университета. – 2012. – № 3. – С. 126–132.
43. Сарваров А.С., Шевырёв Ю.В., Фёдоров О.В. Оценка эффективности затрат на повышение энергетических показателей в сетях с полупроводниковыми преобразователями // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 11–19.